

# Wpływ nawierzchni jezdni na zużycie paliwa

Marzena Drywa

## Streszczenie

W pracy przedstawiono problematykę wpływu tekstury nawierzchni na opór toczenia opon samochodowych. Przedstawiono wymierne efekty ekonomiczne i ekologiczne wpływu nierówności i tekstury przy oporze toczenia opon na zużycie paliwa. Zawarto krótki opis celu badań, pomiarów oraz analizy wyników. Zaprezentowano również spostrzeżenia i wnioski.

**Słowa kluczowe:** nawierzchnie szorstkie i gładkie, ugięciomierze laserowe, współczynnik oporu toczenia, opór toczenia a zużycie paliwa.

## Wstęp

Za wielkość zużycia paliwa odpowiedzialne są opory ruchu, a te zależą od wielu czynników. Najogólniej mówiąc, oporami ruchu nazywamy wszystkie siły, na jakie napotyka pojazd i które musi pokonać podczas jazdy. Możemy je podzielić na: drogowe (toczenia, wzniesienia), związane z konstrukcją (powietrza, wewnętrzne mechaniczne) i opory bezwładności. Podczas jazdy koło samochodowe tocząc się musi przezwyciężyć dwa rodzaje oporów. Jeden wynika z tarcia opony o nawierzchnię, a drugi to opór wynikający ze sprężystych odkształceń opony. A więc współczynnik tarcia zależy od nawierzchni drogi (na szutrowej drodze jest on dwa razy większy niż na asfalcie, a na drodze z nierównościami - jak dziury pośniegowe - jeszcze większy).

W poszukiwaniu sposobów na oszczędzanie paliwa spalane przez samochody coraz częściej przyglądamy się nie tylko pojazdom, ale także warunkom w jakich się poruszają. Ostatnim zagadnieniem z jakim zmierzili się pracownicy Massachusetts Institute of Technology był wpływ stopnia twardości drogi na zużycie paliwa. Wyniki tych badań są dość zaskakujące okazuje się, że droga pokryta twardą nawierzchnią może przynieść wła-

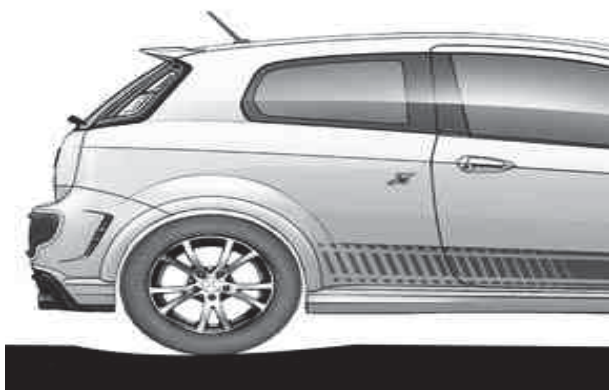
ścielom aut oszczędności na poziomie około 3%. Eksperyment oparty został na symulacjach komputerowych przeprowadzonych na podstawie danych pochodzących z ponad 5500 odcinków dróg. Choć 3% oszczędność w spalaniu w przypadku jednego samochodu może wydawać się nieznaczna, to w skali globalnej przynosi to oszczędności zarówno finansowe jak i w emisji spalin i gazów cieplarnianych. Na najbardziej ruchliwych drogach i autostradach, które zachowują odpowiednią sztywność nawierzchni, zsumowane zużycie paliwa może wynieść nawet kilkanaście tysięcy litrów na każdy kilometr jednego pasa.

## Badania wpływu nawierzchni na zużycie paliwa

### Pomiary ugięć nawierzchni na drodze

W miejscu styku opony z powierzchnią drogi ugina się nie tylko opona, nawierzchnia też. Efekt jest nieznaczny i do tej pory uważano, że nie ma znaczenia, teraz jednak okazuje się, że powoduje konkretne straty. Na nie dość sztywnej drodze samochody jadą nieustannie jakby „pod górkę”.

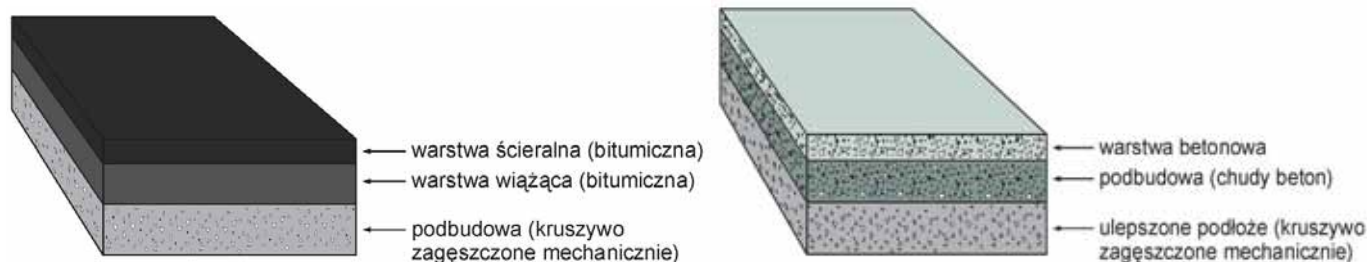
W dziedzinie pomiarów ugięć nawierzchni drogowej najnowszym osiągnięciem jest ugięciomierz laserowy TSD przedstawiony na rys. 2.



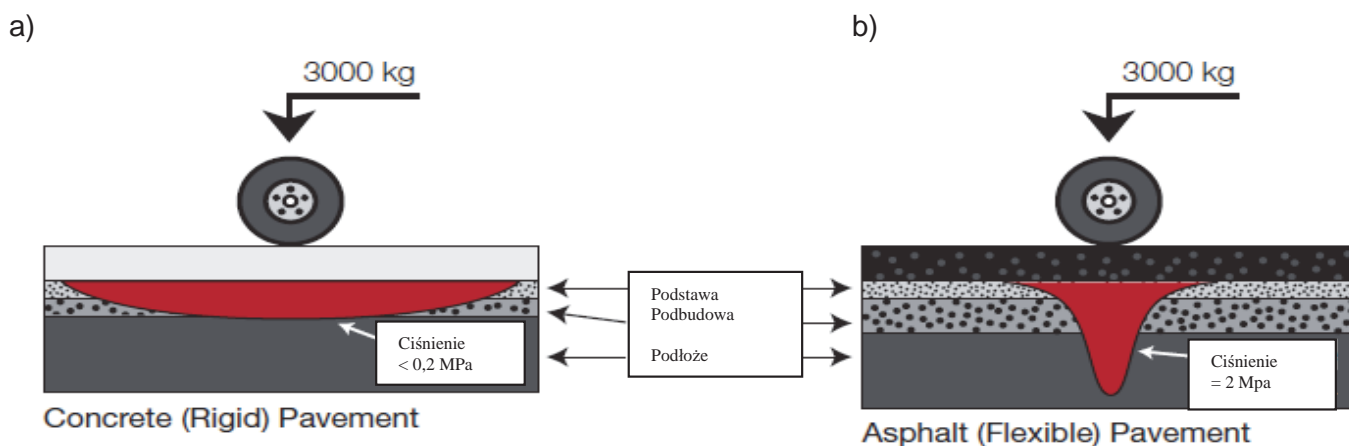
Rys. 1. Ugięcie nawierzchni w miejscu styku z oponą pod wpływem ciężaru [ 1]



Rys. 2. Ugięciomierz laserowy TSD [2]



Rys. 3. Przekrój drogi asfalt i beton [3]



Rys. 4. Rozkład ciężaru samochodów ciężarowych na nawierzchniach: a) betonowej, b) asfaltowej [3]

Zbudowano go w celu wykonania badań nośności nawierzchni, ze szczególnym uwzględnieniem identyfikacji miejsc o obniżonej trwałości konstrukcji drogowej. Zaletą TSD jest ciągły, bezстыkowy pomiar ugięć nawierzchni. Zbudowano go na bazie samochodu ciężarowego z naczepą, którego ruch odpowiada zachowaniu pojazdu na drodze.

### Rezultaty badań nawierzchni jezdni ze względu na opór toczenia

Podczas budowy dróg istotny jest dobór nawierzchni o odpowiednio niskim oporze toczenia. I tak na przykład – nawierzchnie betonowe, w przeciwieństwie do asfaltowych, są sztywne więc nie ulegają koleinowaniu. Beton jest jasny, co znacznie poprawia widoczność, a także pozwala zredukować koszty oświetlenia. Nawierzchnie betonowe charakteryzują się też dobrą przyczepnością. W efekcie na drogach betonowych notuje się mniejszą ilość wypadków.

Stowarzyszenie Producentów Cementu (Portland Cement Association) przeprowadziło badania porównujące zużycie paliwa pojazdów ciężkich na różnych typach nawierzchni. Wnioski tych badań wykazały, że na nawierzchniach betonowych zużycie paliwa jest niższe niż w przypadku dróg o nawierzchniach asfaltowych. Oszczędność w zużyciu paliwa dla pojazdów ciężkich wynika z korzystniejszego rozkładu ciężaru samochodów ciężarowych na nawierzchniach betonowych niż to ma miejsce w przypadku nawierzchni asfaltowych.

Podobne badania zostały również przeprowadzone przez Kanadyjski „National Research Council” na bazie szeregu analiz dotyczących różnych nawierzchni dróg, rodzajów pojazdów o różnych porach roku, które również wykazały, że zużycie paliwa na drodze betonowej było niższe niż na drodze o nawierzchni bitumicznej o średnio 2.35% [3, 4].

Od kilku lat wzrastającą popularnością cieszy się metoda, w której opór toczenia określany jest w sposób pośredni, na podstawie pomiaru zużycia paliwa pojazdu badawczego poruszającego się po ściśle określonych nawierzchniach. Metoda ta umożliwia porównanie oporów tej samej opony na różnych nawierzchniach i stwierdzeniu która jest najlepsza nawierzchnia z punktu ekonomicznego (zużycie paliwa, bieżnika opony itp.).

### Badania laboratoryjne wpływu nawierzchni na opór toczenia

Nowym i aktualnym opracowaniem na temat wpływu nawierzchni drogi na opór toczenia jest raport MIRIAM SP1 04 [6]. Stanowi on podsumowanie wyników badań przeprowadzonych w latach od 1980 do 2011 włącznie. Zaproponowano w nim następującą formułę opisującą zależność oporu toczenia od parametrów opisujących teksturę nawierzchni. Jest to równanie (1), w którym współczynnik oporu toczenia jest liniową funkcją średniej głębokości profilu nawierzchni MPD i wskaźnika równości IRI:

$$f_t = A + 0,0020 \cdot \text{MPD} + X \cdot \text{IRI} \quad (1)$$

gdzie:

$f_t$  – współczynnik oporu toczenia,

$X$  – współczynnik uwzględniający wpływ wskaźnika IRI na opór toczenia poprzez straty energii w zawieszeniu koła,

$A$  – stała zawierająca się w granicach 0,008 – 0,012 dla opon samochodów osobowych i stanowi tylko 50 – 60% tej wartości dla opon samochodów ciężarowych.

W tej formule (1) należałoby uwzględnić także wpływ ugięcia nawierzchni (sztywności) na opór toczenia. Odształcenie nawierzchni generuje bowiem dodatkową składową w całkowitym oporze toczenia.

Na rys. 5 pokazano porównanie laboratoryjnych wyników badań współczynnika oporu toczenia zbioru 89 opon na nawierzchni gładkiej SW-80 i szorstkiej APS-4 przy prędkości toczenia 80 km/h. Obciążenie pionowe opony wynosiło 4120 N a ciśnienie pompowania 205 kPa. Widać dość dobrą korelację wartości współczynnika oporu toczenia pomierzonych na nawierzchni szorstkiej i gładkiej [7].

W pracach [5] wykonano laboratoryjne badania wpływu częstotliwości wymuszeń drgań zawieszenia badanego koła jego opór toczenia. Określono zależność współczynnika oporu toczenia od częstotliwości wymuszeń obciążeń dynamicznych  $Q(t)$  działających na toczące się koło samochodu ciężarowego. Zmienne obciążenia dynamiczne symulowały oddziaływanie nierówności nawierzchni na badane koło.

Krzywa czerwona przedstawia wyniki obliczeń zależności współczynnika oporu toczenia koła pneumatycznego od częstotliwości zmian obciążenia pionowego, otrzymane na podstawie analizy modelu Pacejki uzupełnionego modelem Gong'a. Te wyniki są najbardziej zbliżone do zależności otrzymanych na podstawie badań rzeczywistych opon. Widoczne są dwa rezonanse przy częstotli-

wości 17 Hz i 25 Hz. Dla częstotliwości 17 Hz przyrost współczynnika oporu toczenia wynosi około 0,054 a dla częstotliwości 25 Hz przyrost ten wynosi 0,064.

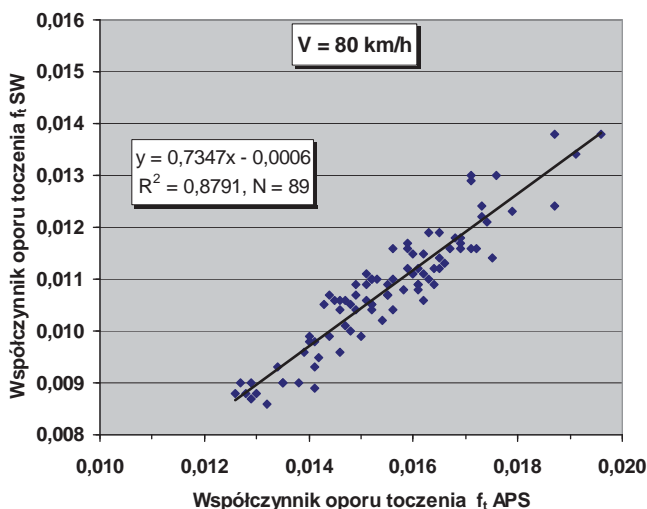
Aby wykonać badania oporu toczenia w warunkach laboratoryjnych z uwzględnieniem wpływu nierówności na nawierzchniach gładkich i szorstkich należałoby na bębnie maszyny bieżnej zamontować nawierzchnię z zamodelowanymi nierównościami. Badane koło powinno wówczas pracować na zawieszeniu bardziej reprezentatywnym dla zawieszenia koła samochodowego.

Czyli na bębnie powinno się zamontować repliki nawierzchni o określonej teksturze opisanej średnią głębokością profilu i o kontrolowanym wskaźniku IRI. Aby umożliwić wiarygodne pomiary na nawierzchni o zadanej nierówności powinno wprowadzić się zmiany w układzie obciążenia promieniowego badanego koła przez zamontowanie elementów sprężystych i amortyzatorów.

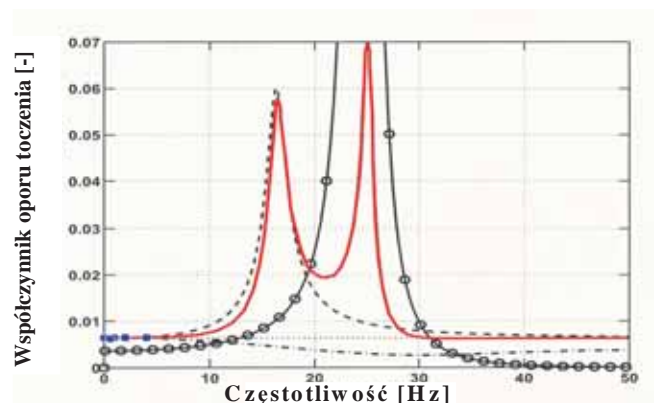
## Podsumowanie

Wyniki drogowych pomiarów oporu toczenia na nawierzchniach potwierdziły liniową zależność oporu toczenia od rodzaju nawierzchni. Podobne wyniki otrzymano podczas badań laboratoryjnych oporu toczenia opon dla nawierzchni szorstkiej i gładkiej. Dla rzeczywistych nawierzchni drogowych istotny jest wpływ nierówności nawierzchni na opór toczenia, ponieważ im większe nierówności tym większe opory toczenia a tym samym większe zużycie paliwa. W kontekście planów budowy autostrad w Polsce możliwość pomiaru oporu toczenia nawierzchni, a co za tym idzie odpowiedniego ich doboru, przyczynić się może do zmniejszenia zużycia paliwa i zmniejszenia emisji spalin.

Dlatego tak istotne jest prowadzenie badań dotyczących nawierzchni drogi i opon np. analiz widmowych profilu nawierzchni. Takie badania zaplanowano w ramach grantu realizowanego w Zakładzie Pojazdów. Wymagają one modernizacji stanowisk do badania oporu toczenia opon.



**Rys. 5.** Porównanie wyników pomiarów współczynnika oporu toczenia na nawierzchni gładkiej SW-80 i szorstkiej APS-4 przy prędkości 80 km/h



**Rys. 6.** Zależność współczynnika oporu toczenia opony od częstotliwości zmian obciążenia pionowego koła  $Q(t)$  [5]

## Bibliografia

1. <http://www.rm24.pl/> nauka
2. Sudyka J., Mechowski T., Harasim P., *Nowoczesne metody oceny stanu nawierzchni w utrzymaniu sieci drogowej*, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym, Poznań 3-4.09.2009.
3. <http://www.cemexbeton.pl>
4. Lengren C.A., Faldner L., *Regarding Truck Rolling Resistance on Different Pavement Types*, 11 International Symposium on concrete Roads 2010.
5. Arnaud J., Pierre M., *Truck tyre rolling resistance under dynamic vertical load*. Uniof Nottinbham, School of Mechanical, Materials, Manufacturing Engineering and Management, Nottingham 2004.
6. Sandberg U., Bergiers A., Ejsmont J.A., Gougert L., Karlsson R., Zoller M., *Road surface influence on tyre/road rolling resistance*, 2011, 1-60 s., 36 rys., 12 tab. - bibliogr. 29 poz. Raport MIRIAM SP1 04 (Models for rolling resistance in Road Infrastructure Asset Management systems).
7. Taryma S., *Opór toczenia opon samochodowych*, Gdańsk: Wyd. Pol. Gdańskiej 2007, Seria Monografie nr 80, 170 s.

## Effect of the road surface in fuel consumption

### Abstract

*This paper presents the problem of the impact of surface texture on tire rolling resistance. Presented measurable economic and environmental impact of inequality and texture of the rolling resistance of tires on fuel consumption. Is a short description of the purpose of testing, measurement and analysis of results. Presented the findings and conclusions.*

**Key words:** rough and smooth surfaces, laser deflectometer, the coefficient of rolling resistance, rolling resistance and fuel consumption.

### Autor:

mgr inż. **Marzena Drywa** – Politechnika Gdańska